أنواع الأخطاء ومصادرها :-

① الخطأ المنتظم :-

تكون له قيمة محددة ويعرف عندما تحتوي جميع النتائج على أخطاء بنفس المقدار

تكون نتيجة أخطاء في الجهاز المستخدم أو الطريقة المستخدمة أو ظروف التجربة أو الأخطاء شخصية

② الأخطاء العشوائية :- عندما يكون قياس والاتفاق النتائج المتعددة معه

ومصادر الأخطاء ثلاث :-

① أخطاء في الجهاز
② أخطاء في عملية المستخدمة للتحليل
③ أخطاء تنتج من شخص الذي يقوم بالتجربة

---

* التفاعلات التي يطبق فيها التحليل الحجمي
① معايرات الأحماض والقواعد ② معايرات تكون المعقدات
③ معايرات الترسيب ④ معايرات التأكسد والاختزال.

* المتطلبات الهامة التي يجب أن تتصف مادة لكي نستخدم مادة قياسية
① درجة نقاوة عالية ② الثبات وعدم تأثرها اتجاه العوامل الجوية كالرطوبة والحرارة ③ توافر المادة بسعر معقول ④ وزنة مكافئ.

+ المحاليل القياسية :- ما يجب أن يتصف به المحلول :-
① أن يكون ثابتاً على مدى طويل حتى لا يحتاط مستمر إلى معايرة كل حين
② أن يكون تفاعله مع المحلل سريعاً حتى تقل وقت انتظار بعد كل إضافة.
③ أن يكون تفاعله مع المحلل تاماً تقريباً حتى يتاح تعين نقطة النهاية
④ أن يوصف تفاعله مع المحلل معادلة موزونة.
⑤ أن تتوافر وسيلة لتحديد نقطة التكافؤ أو نقطة التعادل

- المحلول المنظم: هو عبارة عن حمض ضعيف وملحه او قاعدة ضعيفة وملحه يعمل على ابقاء تأثير اضافة كمية قليلة من حامض قوي او كمية قليلة من قاعدة قوية.

- يعتمد نجاح طريقة فاجان على الخواص الكيميائية والفيزيائية التي يمتلكها كل من الراسب والكاشف وهذه الخواص هي :-

1) يجب ان تكون دقائق الراسب ذات ابعاد غروية حيث يتوفر أكبر سطح ممكن لحدوث امتزاز عليه يمكن اضافة كمية صغيرة من :- الكربوهيدرات
2) يجب ان تكون امتزاز الايونات الخاصة على الراسب قوياً
3) يجب يرتبط الكاشف بقوة بالطبقة المضادة الاولية
4) يجب ان تكون درجة حموضة المحلول مناسبة.

شامل

ع

الهدف الرئيسي من التحليل الكيفي هو التعرف على مكونات عينة ما اعتماداً على الخواص الكيميائية لهذه المكونات . ويمكن التعرف على العينات المكونة من مادة واحدة في بعض الحالات ، بإجراء بعض القياسات الفيزيائية البسيطة مثل تقدير نقطة (درجة) الانصهار أو نقطة الغليان أو تقدير الوزن الجزيئي . ويمكن تقسيم هذا النوع من الكيمياء التحليلية الى فرعين رئيسين :

1. تحليل المركبات غير العضوية : نظراً لان الكثير من المركبات غير العضوية لها ذائبيات محسوسة في الماء ، فإن الهدف من هذا النوع من التحليل هو اجراء تفاعلات مناسبة تمكن من التعرف على الايونات التي تتكون عند وجود العينة في المحلول .

2. تحليل المركبات العضوية : نظراً لان المركبات العضوية تحتوي على الكربون بالاضافة الى عدد محدود من عناصر أخرى (مثل Cl,P S,N,O,H) فإن الهدف من هذا النوع من التحليل لا يقتصر على تعيين هذه العناصر وانما يمتد الى التعرف على المجموعات المتكونة من هذه العناصر ايضاً (المجموعات الوظيفية) .

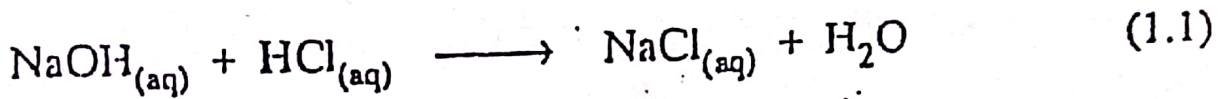
ب – الكيمياء التحليلية الكمية :

وهي تعني بتقدير كميات العناصر أو النسب المئوية لها أو النسب المئوية للمركبات الموجودة في عينة ما . فمثلاً لتحليل كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ تقدر النسب المئوية للعناصر الثلاثة أي الكالسيوم والكربون والاوكسجين . ونظراً لأن كربونات الكالسيوم مركب ناتج من تفاعل أوكسيد الكالسيوم CaO وثاني أوكسيد الكربون CO_2 ، فإن من الممكن أن يعبر عن تكوينه أيضاً بتقدير

2.1 عمليات التحليل الكمي الأساسية :

1. التحليل الكمي الحجمي Volumetric Analysis

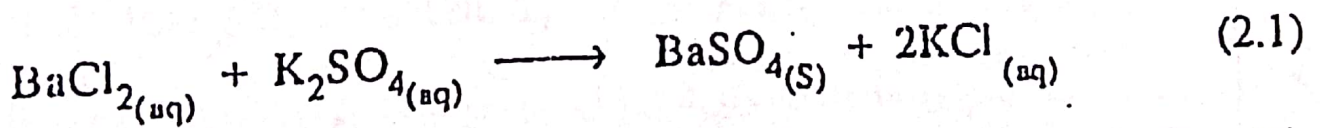
وفيه تقدر كمية المادة بقياس حجم محلولها أو تقدير وزنها الذي يعادل حجماً معيناً من محلول يحتوي على عدد معين من الغرامات المكافئة من مادة قياسية في لتر من المحلول . فمثلاً يمكن تعيين كمية هيدروكسيد الصوديوم NaOH في محلول بمعايرة حجم معين من هذا المحلول بمحلول قياسي (Standard) لحامض الهيدروكلوريك HCl ، حيث يتم التفاعل تبعاً للمعادلة التالية :-

$$NaOH_{(aq)} + HCl_{(aq)} \longrightarrow NaCl_{(aq)} + H_2O \qquad (1.1)$$

وستبحث أسس التحليل الكمي والحجمي بأنواعه المختلفة في وحدات متتالية بدءاً من الوحدة الثالثة .

2. التحليل الكمي الوزني Gravimetric Analysis

سؤال شامل

وفيه تقدر كمية المادة في العينة بقياس وزنها بعد فصلها أو فصل احد مكوناتها ووزنه . فمثلاً لتقدير الكبريتات ، ترسب الكبريتات على صورة كبريتات الباريوم $BaSO_4$ طبقاً للمعادلة التالية :

$$BaCl_{2(aq)} + K_2SO_{4(aq)} \longrightarrow BaSO_{4(S)} + 2KCl_{(aq)} \qquad (2.1)$$

ولتقدير النحاس ، يتم ترسيبه على صورة ثيوسيانات النحاسوز (I) CuCNS أو يرسب من محلوله على مهبط من البلاتين .

والتحليل الكمي الوزني هو موضوع الوحدة الرابعة .

3. التحليل الكهربائي الوزني Electro - gravimetric Analysis

تستخدم هذه الطريقة بكثرة وخصوصاً في تحليل السبائك Alloys والعناصر غير الحديدية Non Ferrous Metals . وفي هذه الطريقة ينفصل العنصر (مثل النحاس او الكوبالت) أو احد أكاسيده مثل PbO_2 أو MnO_2 على قطب (مهبط) مناسب ، نظيف ، معلوم الوزن ...

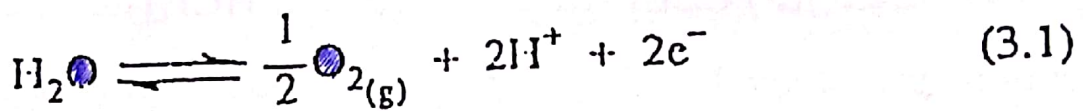
سؤال شامل ←

التحليل الذ يعتمد على كمية المادة في العينه بقياس وزنها وفصل أحد مكوناتها طريقة فصل ← التحليل الكمي الاساسي

الطريقة في أنه يمكن هنا استبعاد احتمالات الترسيب المرافقة Coprecipitation التي تحدث في الطرق الوزنية العادية ، لأنه يندر حدوثها اذا ضبطت الظروف العملية في الطريقة الكهربائية .

4. التحليل الكولومتري Coulometric Anlysis

لهذه الطريقة الكثير من الاستخدامات مثل تقدير وتخليق بعض المركبات العضوية أو معايرة القواعد القوية والضعيفة كولومترياً باستخدام ايون الهيدروجين المولد عند مصعد من البلاتين :

$$H_2O \rightleftharpoons \frac{1}{2}O_{2(g)} + 2H^+ + 2e^- \quad (3.1)$$

وفي هذه الحالة يجب عزل المهبط عن المحلول أو يولد أيون الهيدروجين خارجياً لمنع التداخلات من ايون الهيدروكسيد الذي يتكون عند المهبط .

ويمكن كذلك استخدام هذه الطريقة لتوليد العديد من المواد المؤكسده التي تستخدم في تفاعلات الاكسدة والاختزال . ويعتبر توليد البروم ذا اهمية خاصة ضمن المواد المؤكسدة حيث يستخدم في تقدير كثير من المواد العضوية وغير العضوية .

والمتطلبات الاساسية للتحليل بالطرق الكولومترية هو ان يتم تفاعل الاقطاب المستخدم لتقدير كمية المادة بكفاءة 100% . وتسمى الطرق الكولومتريه حسب طبيعه التفاعل عند الاقطاب فإذا كانت المادة المراد تقديرها تتفاعل مباشرة عند الأقطاب سميت بالطرق الأوليه Primary Coulometric Analysis أما اذا كانت المادة المراد تقديرها تتفاعل مع ماده أخرى تتولد عند الاقطاب فانها تسمى بالطرق الثانوية Secondary Coulometric Analysis . والكتلة التي تعادل مكافئاً واحداً من المادة التي تتحلل كهربائياً هي وزنها الذري أو الجزيئي مقسوماً على عدد الالكترونات المبذولة (أو

الكاشف	اللون في الوسط الحامضي	اللون في الوسط القاعدي	مدى pH الذي يحصل فيه تغير اللون
بنفسجي الميثيل Methyl violet	أصفر	بنفسجي	0 - 2
أصفر الميثيل Methyl yellow	أحمر	أصفر	1.2 - 2.3
برتقالي الميثيل Methyl orange	أحمر	أصفر	2.9 - 4.0
أحمر الميثيل Methyl red	أحمر	أصفر	4.2 - 6.3
أزرق بروموثايمول Bromo Hymol blue	أصفر	أزرق	6.0 - 7.6
أزرق ثايمول Thymol blue	أصفر	أزرق	8.0 - 9.6
فينول فثالين Phenol phthalein	عديم اللون	أحمر	8.3 - 10
أزرق الأليزارين G Alizarin yellow G	أصفر	أحمر	10.1 - 12
عباد الشمس Litmus	أحمر	أزرق	حوالي 7

$\therefore$ كتلة $C_6H_6Cl_6$ - 0.2795) 2.021 + $C_6H_6Cl_6$ ...

$0.7161 = (C_6H_6Cl_6$ كتلة $- 0.2795) 2.021 + ...$

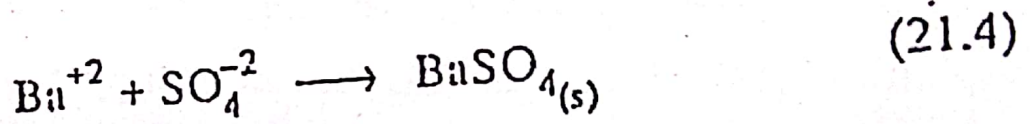
كتلة $\therefore$ $C_6H_6Cl_6 = 0.1616$ غم

$$\% C_6H_6Cl_6 = \% 100 \times \frac{0.1616}{0.2795} = \% 57.82$$

$$\% C_{14}H_9Cl_5 = 100 - 57.82 = \% 42.18$$

4.4 تقدير أيون الكبريتات SO_4^{-2} على شكل كبريتات الباريوم $BaSO_4$

يتم ترسيب كبريتات الباريوم في عملية التحليل الوزني لأيون الكبريتات بإضافة محلول كلوريد الباريوم الى محلول ساخن من الكبريتات الذي سبق وخفضت درجة الحموضة فيه بإضافة HCl .

$$Ba^{+2} + SO_4^{-2} \longrightarrow BaSO_{4(s)} \qquad (21.4)$$

والهدف من اضافة HCl هو في الدرجة الأولى منع تكون رواسب أخرى قليلة الذائبية مثل كربونات الباريوم وفوسفات الباريوم . وحيث أن ذائبية كبريتات الباريوم أكبر في المحاليل الحامضية مما هي في الماء ، بسبب تكون أيونات HSO_4^- ، فإن محلول حامض الهيدروكلوريك يحبذ تكون راسب له حبيبات كبيرة حسب قانون Von Weima . يمكن أن يتلوث كبريتات الباريوم المترسب بالشوائب المحتبسة (Occluded) ، أو الشوائب التي تترسب مرافقة (Coprecipitation) .

ويعتمد مدى التلوث ونوع الملوثات جزئياً على طريقة الإضافة ، أي من المحلولين أضيف للآخر . فإذا أضيف محلول كلوريد الباريوم إلى محلول الكبريتات ، فإن ترسيب الأيونات الموجبة الاخرى في المحلول (Coprecipitation of Cations) يكون اكثر احتمالاً ،

... التخلص من أيون الكلوريد ... خاصة ذات مسامات صغيرة ، ثم يغسل بماء (يجري فحص باستخدام $AgNO_3$) ، تحرق الورقة عند حوالي 1000°م بعد أن تكون قد تفحمت ويستمر ذلك إلى أن يحرق كل الكربون ، ويجب التأكد من وجود عوامل مؤكسده خلال عملية التفحم والحرق لمنع اختزال الكبريتات إلى الكبريتيد .

ويوزن الراسب بعد ذلك ، ونقوم بالحسابات (كما في المثال الذي شرحناه في توضيح مفهوم معامل الترسيب) .

5.4 تقدير أيون الكلوريد على شكل كلوريد الفضة

يتم تقدير أيون الكلوريد بالترسيب على شكل كلوريد الفضة (AgCl) :-

بإضافة محلول من نيترات الفضة ($AgNO_3$) إلى محلول من الكلوريد الذي سبق تحميضه بإضافة حامض النتيروجين (V) ، HNO_3 .

بعد عملية التسخين لفترة من الزمن (digestion أو aging) يفضل أن تكون في مكان معتم) يفصل الراسب بالترشيح ويغسل بكمية من حامض HNO_3 المخفف كثيراً ، ثم يجفف ومن ثم يوزن .

ويجب أن يحمى الراسب من الضوء لان كلوريد الفضة يُختزل عندما يتعرض للضوء .

واذا اتبعت الطريقة الصحيحة في الترسيب ، يمكن التخلص من جميع مصادر الخطأ . فعملية تحميض محلول الكلوريد هدفها منع تكون رواسب الفضة من الاحماض الضعيفة مثل الكربونات والفوسفات ، كما أن HNO_3 المستخدم يسرع عملية تخثر الراسب (Coagulation) الذي يتكون أولاً على شكل شبه غروي . ويساعد الحامض كذلك في عملية تنقية الراسب ، وتختفي أيونات النيترات بعد ذلك اثناء عملية تجفيف الراسب .

... تركيز

... التي تستعمل فيها كواشف الامتزاز

... ولكن تطبيقها يقتصر على عدد قليل من التفاعلات التي يتكون فيها راسب غروي لذلك فإن هذا النوع من الكواشف غير مُجدٍ في وسط يحتوي على تركيز الكتروليتي عالٍ لأن مثل هذا التركيز يسبّب تخثر الراسب مما يقلل المساحة السطحية التي يحدث عليها نشاط الصبغة .

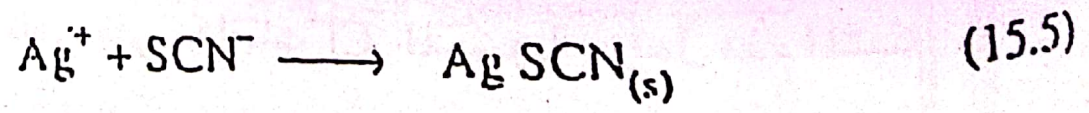
ومعظم كواشف الامتزاز تكون أحماضاً ضعيفة ، واستعمالها محصور في المحاليل القاعدية الى حد قليل أو المحاليل المتعادلة و حيث تكون القاعدة القرينة هي السائدة . وهناك قواعد ضعيفة تعمل ككواشف امتزاز ، وهي مناسبة للمعايرة في المحاليل الحامضية ، وهنا يعمل الكاشف بالتفاعل بين شكله الحامضي القرين ، وبين حبيبات الراسب المشحونة بشحنة سالبة .

وأخيراً فان هناك الكثير من الكواشف التي تساعد على تفكك املاح الفضة أو تحطمها بتأثير الضوء (photodecomposition) ، لذلك فان هذه المُعايرات تُجرى عادة في ضوء خفيف .

3.2.5 طريقة فولهارد (تكون مُعقد ملون)

Volhard method (formation of colored complex

يُستعمل محلول قياسي من ثيوسيانات البوتاسيوم KSCN لمعايرة الفضة بطريقة فولهارد (نسبة الى العالم فولهارد عام 1874)

$$Ag^{+} + SCN^{-} \longrightarrow AgSCN_{(s)} \qquad (15.5)$$

يستعمل كاشف الحديد (III) الذي يعطي لوناً أحمر لخليط المُعايرة عندما يصبح أيون

2.5 الكشف عن نقطة النهاية في معايرات الترسيب

هناك عدة طرق معروفة لتحديد نقطة التكافؤ في معايرات الترسيب :-

قياس الجهد الكهروكيميائي ، وهي تحتاج عادة إلى وقت طويل ، لذلك كثيراً ما يلجأ إلى الطرق التي تعتمد على ملاحظة التغير في اللون الناتج عند استعمال كواشف معينة . وهذه الطرق سريعة ولا تحتاج إلى وقت طويل ، وسيقتصر الحديث عليها فقط .

1.2.5 طريقة مور (تكون راسب ثان) Mohr Method

طورت هذه الطريقة من قبل العالم (K.F.Mohr) عام 1855 ، وهي تعتمد على تكون راسب ثان ملون ، وهو غير الراسب الذي يتكون أثناء المعايرة . وتستعمل هذه الطريقة لمعايرة الكلوريد و البروميد مع محلول نيترات الفضه قياسي باستخدام أيونات الكرومات CrO_4^{2-} في وسط متعادل أو قاعدي خفيف .

وفي معايرة الكلوريد بنيترات الفضة مثلاً تُضاف كمية بسيطة من كاشف الكرومات الى محلول المُحلَّل (الكلوريد) ويُعاير المحلول بمحلول نيترات الفضة بإضافته تدريجياً ويتكون راسب AgCl الابيض ، وبعد الوصول الى نقطة التكافؤ ، أي بعد أن تتساوى مكافئات الفضة والكلوريد ، فإن إضافة المزيد من $AgNO_3$ يكّون بالتفاعل مع ايون CrO_4^{2-} راسباً بنياً محمرّاً هو كرومات الفضه Ag_2CrO_4 وتحسب تراكيز الايونات عند نقطة التكافؤ من ثابت حاصل الذائبية لكل من AgCl ، Ag_2CrO_4 .

$$AgCl : Ksp = 1.8 \times 10^{-10} = [Ag^+][Cl^-] \qquad (9.5)$$

$$Ag_2CrO_4 : Ksp = 1.2 \times 10^{-12} = [Ag^+]^2[CrO_4^{2-}] \qquad (10.5)$$

وعند نقطة التكافؤ يكون تركيز أيون الفضة مساوياً لتركيز أيون الكلوريد أي أن

$$[Cl^-] = [Ag^+]$$

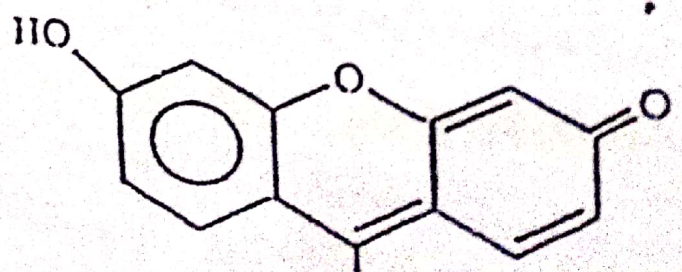
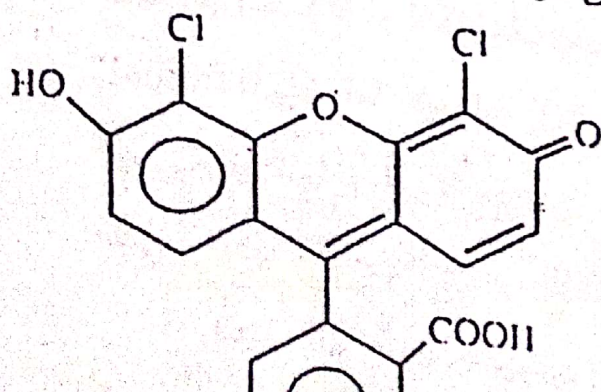
$$Ksp = [Cl^-]^2$$

2.2.5 طريقة فاجان (كواشف الامتزاز)

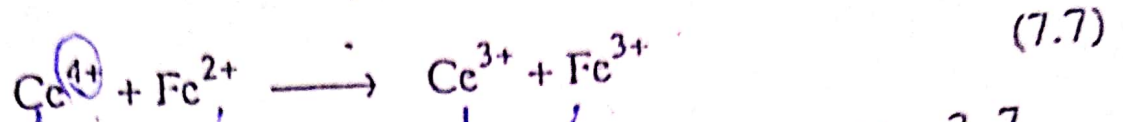
Fajans method (adsorption indicators)

طورت هذه الطريقة على يد العالم K.Fajan عام 1920 وتعتمد على استعمال كواشف الامتزاز . وكاشف الامتزاز هو أحد الأصباغ العضوية الذي يمتز على سطح الراسب الناتج خلال معايرة الترسيب ، وفي الحالة المثالية يجب أن يحدث الامتزاز عند نقطة التكافؤ ، ويتغير لون الكاشف بمجرد حدوث الامتزاز .

ومن أهم كواشف الامتزاز كاشف الفلورسين Fluorescein indicator وثنائي كلورو فلورسين dichlorofluorescein ورباعي برومو فلورسين (إيوسين) (eosin) tetrabromo fluorescein . والشكل (3.5) يوضح بناءات هذه الكواشف . والفلورسين كاشف نموذجي للامتزاز ويفيد في معايرة أيون الكلوريد مع نيترات الفضة . والفلورسين حامض في المحلول المائي ، ويتفكك جزئياً ليعطي أيون الفلورسينات (Fluorescinate) الذي يكون لونه أصفر مخضراً في الوسط الذي تتم فيه المعايرة ، أما راسب فلورسينات الفضة فيكون أحمر اللون ، وله ذائبية محدودة ، وبالنسبة لتركيز الكاشف فيجب لفلورسينات الفضة أن تكون قيمته بحيث لا يؤدي إلى تجاوز ثابت الذائبية لفلورسينات الفضة .

الشكل (3.5) بناءات بعض كواشف الامتزاز :

وهنا لا حاجة لضرب أي من المعادلتين بعامل لان عدد الالكترونات المفقودة مساوٍ لعدد الالكترونات المكتسبة ، لذلك نحصل على التفاعل الخلوي (4.7) بجمع المعادلتين (5.7) و (6.7) ، مما يؤدي إلى اختفاء الالكترونات من الطرفين .

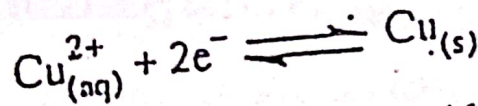
(7.7)

$$Ce^{4+} + Fe^{2+} \longrightarrow Ce^{3+} + Fe^{3+}$$

2.7. الخلايا الكهروكيميائية .

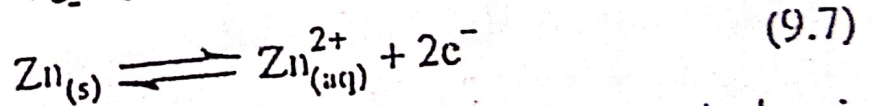
1.2.7 تفاعلات الاكسدة – الإختزال في الخلايا الكهروكيميائية .

تحدث تفاعلات الاكسدة – الإختزال أحياناً بحيث يتم الانتقال المباشر للالكترونات من المانح إلى المستقبل ، فمثلاً اذا غُمس قضيب من الخارصين في محلول يحتوي على كبريتات نحاس (II) ، $CuSO_4$ ، تهاجر ايونات النحاس (II) إلى سطح الخارصين ويحدث لها اختزال :

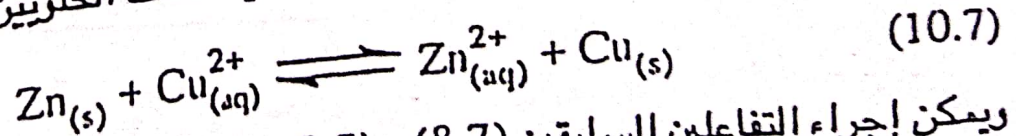
(8.7)

$$Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightleftharpoons Cu_{(s)}$$

وفي المقابل تحدث اكسدة لكمية مكافئة من الخارصين :

(9.7)

$$Zn_{(s)} \rightleftharpoons Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$

ونحصل على معادلة العملية الكلية بجمع التفاعلين نصف الخلويين .

(10.7)

$$Zn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightleftharpoons Zn^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

ويمكن إجراء التفاعلين السابقين (8.7) ، (9.7) كلٍ على حدة ، في وعاء خاص ، ويوضح الشكل (1.7) ذلك .

والموصل الخارجي يعمل كوسيلة لانتقال الالكترونات من الخارصين إلى النحاس ، ولكن الانتقال للإلكترونات يجب ان لا يستمر طويلاً لان استمرار انتقال الالكترونات في نفس الاتجاه يحدث حالة من عدم الاتزان . فعند انتقال الالكترونات من الخارصين إلى النحاس تتكون ايونات موجبة على سطح الخارصين تمنع انتقال المزيد من الالكترونات

إذا ارتفعت درجة الحرارة فإن الموصلية الكهربائية للمحاليل الالكتروليتية
ا. تزداد ٢. تقل ٣. لا تتغير

تفاعل النحاس – الخارصين السابق يستمر التفاعل وانتقال الالكترونات حتى يحدث الاتزان وعندها يتلاشى التيار الكهربائي وتصبح قيمته صفراً .

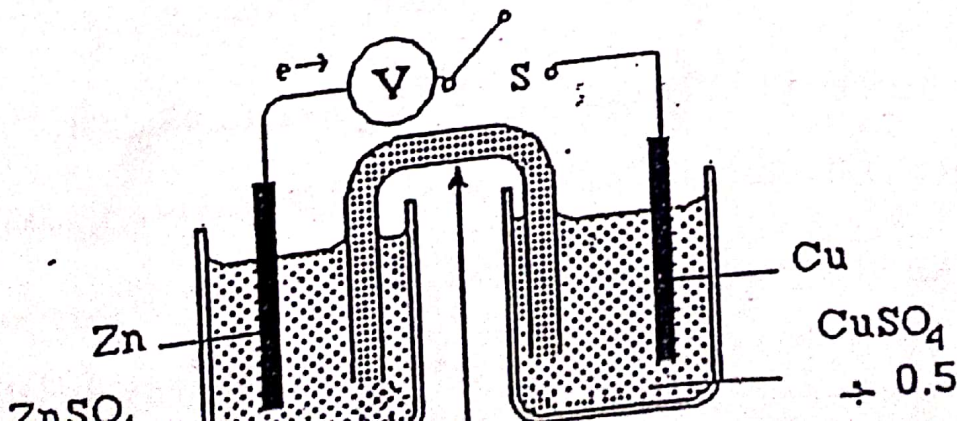
$$Zn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightleftharpoons Zn^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

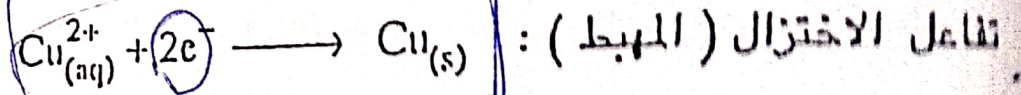
140
150

2.2.7 الخلايا الغلفانية والخلايا الالكتروليتية .

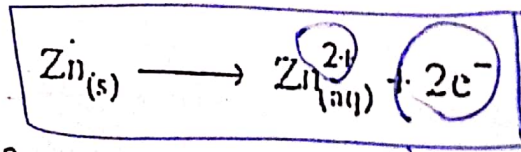
Galvanic and Electrolytic cells

الخلية الغلفانية هي الخلية التي يحدث فيها تفاعل كيميائي تلقائي ويكون مصحوباً بتوليد طاقة كهربائية مثل تفاعل الخارصين والنحاس (II) السابق ذكره . وهي تختلف عن الخلية الالكتروليتية التي تحتاج الى مصدر خارجي للطاقة أو التيار الكهربائي حتى يحدث التفاعل ، لانه غير تلقائي . فإذا اردنا حدوث التفاعل العكسي أي ذوبان النحاس وترسب الخارصين يجب ادخال بطارية أو أي مصدر خارجي للطاقة الكهربائية في الدائرة الخارجية لاجبار الالكترونات على السير في الاتجاه العكسي خلال الموصل الخارجي .

وتتكون الخلية الغلفانية لتفاعل الخارصين والنحاس (II) من كأس يحتوي على قضيب من الخارصين مغموس في محلول $ZnSO_4$ ، 0.5 جـ ، وكأس آخر يحتوي على قضيب نحاسي مغموس في محلول $CuSO_4$ ، 0.5 جـ كما يربط بين المحلولين جسر ملحي من KCl . ويوصل القضيبان بسلك توصيل يمر عبر مقياس للجهد (فولتميتر) ، الشكل (2.7) .

باذا قرأنا فرق الجهد لهذا التفاعل من الفولتميتر نجد أنه 1.1 فولت . وتظهر دلائل حدوث التفاعلات في الكاسين ففي الكأس التي تحتوي على النحاس نلاحظ تغير لون قضيب النحاس بترسيب النحاس الجديد عليه ، وكذلك نلاحظ بعد فترة ان لون محلول كبريتات النحاس (II) الأزرق قد خفت شدته . والقضيب الذي تحدث عليه عملية الاختزال يسمى قطب المهبط (Cathode) وهو الذي تتجه نحوه الأيونات الموجبة (الكايتونات) ، بينما يدعى القطب الآخر الذي تحدث عليه عملية الأكسدة بالمصعد (anode) ، وهو الذي تقدم اليه الأيونات السالبة (الانيونات) .

تفاعل الاختزال (المهبط) : $Cu^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \longrightarrow Cu_{(s)}$

ويتحقق من حدوثه بزيادة وزن قضيب النحاس ، ونقص تركيز Cu^{2+} في المحلول

تفاعل الأكسدة (المصعد) .

$$Zn_{(s)} \longrightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$$

ويكشف عنه بنقصان وزن قضيب الخارصين ، وزيادة تركيز Zn^{2+} في المحلول .

3.2.7 جهد القطب

جهد قطب معين هو الجهد لعملية نصف خلية الاختزال . أما جهد الخلية فهو الفرق بين جهدي قطبين احدهما المهبط والآخر هو المصعد . فمثلاً لخلية Cu / Zn

$$E_{cell} = E_{Cu} - E_{Zn} \qquad (11.7)$$

حيث E_{Cu} هو جهد قطب النحاس الذي يعمل كمهبط و E_{Zn} هو جهد قطب الخارصين الذي يعمل كمصعد . وهناك عبارة أشمل لجهد الخلية وهي :

$$E_{خلية} = E_{(مهبط)} - E_{(مصعد)}$$